

ความสำคัญขององค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ของเสียงขลุ่ยเพียงออ

Significance of Harmonics of Klui-Piang-Aw Sounds

กรกช แสงรัตนกุล^{1*} จริญญา กาญจนประดิษฐ์² กิตติพงษ์ มีสาวาส³

Korakoch Saengrattanakun^{1*}, Jaron Kanjanapadit² and Kittipong Meesawat³

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการทดลองและผลการทดลองเพื่อประเมินความสำคัญขององค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ของเสียงขลุ่ยเพียงออโดยใช้การทดสอบโดยการฟัง การทดลองใช้การทดลองแบบบังคับเลือก 3 ตัวเลือก ทำการทดสอบกับผู้ประเมินที่มีความคุ้นเคยด้านดนตรีไทยจำนวนทั้งสิ้น 15 คน ให้ผู้ประเมินตรวจจับความแตกต่างระหว่างเสียงต้นฉบับเทียบกับเสียงที่ตัดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ลำดับต่าง ๆ วิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติด้วยกรรมวิธีไคกำลังสอง ผลการวิเคราะห์สรุปได้ว่าองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 2 ถึงองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 5 มีความสำคัญต่อคุณภาพเสียงขลุ่ยเพียงออ และองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 6 เป็นต้นไปไม่มีความสำคัญต่อคุณภาพเสียงขลุ่ยเพียงออ

คำสำคัญ: ฮาร์โมนิกส์ ขลุ่ยเพียงออ การทดสอบด้วยการฟัง

Abstract

This paper presents a set of experiments and their results to evaluate the significance of the harmonic components of Klui-Piang-Aw sound. The experiments were conducted by means of listening test using three alternative forced choice (3-AFC). There were 15 subjects who are familiar with Thai music involved in the listening test. The statistical analysis of the results using chi-squared test reveals that the second harmonic up to the fifth harmonic are significant to the sound quality of Klui-Piang-Aw. But sixth harmonic and the higher harmonics are not significant to the quality of Klui-Piang-Aw sound.

Keywords: Harmonics, Klui-Piang-Aw, Listening Test

¹ นักศึกษาคณะศึกษาศาสตร์ สาขาวิชาดนตรีไทย คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002

² อาจารย์ประจำสาขาวิชาดนตรีไทย คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002

³ อาจารย์ ประจำภาควิชาศึกษาศาสตร์ สาขาวิชาดนตรีไทย คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002

* Corresponding author : Email-nutty_ee38@msn.com

บทนำ

การสังเคราะห์เสียงดนตรีไทยเป็นวิทยาการที่มีประโยชน์แก่วงการดนตรีไทยในหลายด้านเช่น ด้านการเรียนการสอนดนตรีไทย และด้านการประพันธ์เพลงไทย เป็นต้น ในปัจจุบันได้มีการใช้วิทยาการคอมพิวเตอร์และวิทยาการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลในการสังเคราะห์เสียงดนตรีกันอย่างแพร่หลาย เช่น การสังเคราะห์เสียงกีตาร์ไฟฟ้า การสังเคราะห์เสียงเครื่องเป่าโดยใช้แบบจำลองเชิงฟิสิกส์ (Physical Modeling) เป็นต้น

เป้าหมายของการสังเคราะห์เสียงก็คือการสร้างสัญญาณเสียงที่เมื่อพิจารณาจากมุมมองของผู้ฟังแล้วมีลักษณะไม่แตกต่างจากเสียงต้นฉบับ โดยที่ลักษณะทางกายภาพของเสียงสังเคราะห์อาจจะเหมือนหรือต่างจากเสียงต้นฉบับก็ได้ ลักษณะทางกายภาพของเสียงที่สำคัญประการหนึ่งก็คือองค์ประกอบความถี่ (Frequency Components) โดยปกติแล้วเสียงดนตรีเสียงหนึ่งจะประกอบไปด้วยองค์ประกอบความถี่มูลฐาน (Fundamental Frequency) หนึ่งความถี่ และองค์ประกอบความถี่ฮาร์โมนิกส์ (Harmonics) อีกจำนวนหนึ่ง ซึ่งหากการสังเคราะห์เสียงจะต้องสังเคราะห์สัญญาณให้ครบทุกองค์ประกอบความถี่ก็จะใช้ทรัพยากรในการคำนวณมาก หากสามารถสังเคราะห์องค์ประกอบความถี่ของสัญญาณเสียงดนตรีเท่าที่จำเป็นได้ ก็จะลดความต้องการทรัพยากรในการสังเคราะห์เสียงได้ ซึ่งก็จะทำให้การนำเทคโนโลยีในการสังเคราะห์เสียงไปใช้ประโยชน์เป็นไปโดยสะดวก

บทความนี้นำเสนอการทดลองและผลการทดลองเพื่อวัดความสำคัญต่อการได้ยินฮาร์โมนิกส์ของเสียงขลุ่ยเพียงออ ซึ่งเป็นการศึกษาต่อเนื่องมาจากการวัดขึ้นเสียงของขลุ่ยเพียงออ [1-3] และการใช้เทคนิคการกระจายเชิงโหนดในการวิเคราะห์สัญญาณเสียงขลุ่ยเพียงออ [2,4] การทดลองใช้การทดสอบด้วยการฟัง (Listening Test) แบบบังคับเลือก 3 ตัวเลือก (Three Alternative Force Choices – 3AFC) แต่ละตัวเลือกคือเสียงขลุ่ยเพียงออที่ขึ้นเสียงเดียวกัน แต่จะมี 1 ใน 3 ของตัวเลือกที่มีจำนวนองค์ประกอบความถี่แตกต่างจาก

ตัวเลือกที่เหลือ ผู้ประเมินมีหน้าที่ฟังเสียงตัวเลือกเหล่านี้และเลือกเสียงแตกต่างจากตัวเลือกอื่น หากผู้ประเมินสามารถเลือกเสียงที่แตกต่างจากตัวเลือกอื่นได้อย่างถูกต้อง แสดงว่าผู้ประเมินได้ยินความแตกต่างขององค์ประกอบความถี่ของตัวเลือกเหล่านี้ สำหรับหัวข้อที่จะนำเสนอในบทความนี้ประกอบด้วย 4 หัวข้อหลัก ได้แก่ บทนำ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง ผลการทดลองและการอภิปรายผลการทดลอง และสรุปผลการวิจัยเป็นลำดับสุดท้าย

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

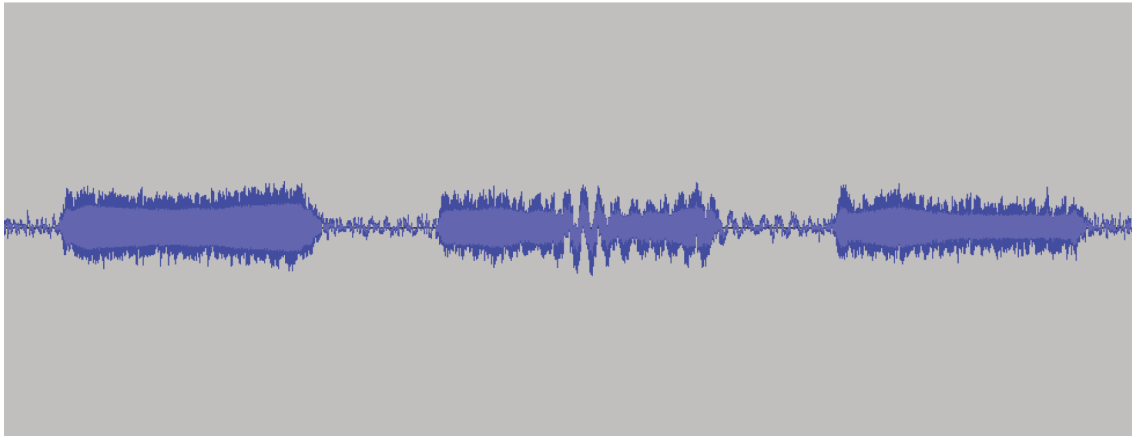
1. การบันทึกเสียง

การบันทึกเสียงใช้เสียงจากขลุ่ยเพียงออ ชนิดไม้รวก 1 เล้า บรรเลงโดยนักดนตรีไทย ซึ่งสถานที่ในการบันทึกเสียงกระทำในห้องทำงานสภาพปกติที่มีขนาด $3.9 \times 3.9 \times 2.9$ ตารางเมตร

ในการเริ่มต้นบันทึกผู้บรรเลงอยู่ห่างจากไมโครโฟน 1 เมตร กำหนดให้บรรเลงไล่ระดับจากเสียงโดต่ำไป จนถึงเสียงโดสูง บรรเลงเสียงละ 3 รอบ เสียงขลุ่ยที่บรรเลงจะถูกส่งผ่านไปยังไมโครโฟนรับเสียงรอบทิศทาง (Omni-Directional Microphone) PCB Piezotronics™ 130D20 ซึ่งมีความกว้างแถบความถี่ที่รับได้ 15 กิโลเฮิร์ตซ์ จากนั้นสัญญาณเสียงจะถูกส่งต่อไปยังวงจรแปลงสัญญาณ (24 – Bit Data Acquisition Card) Nation Instruments™ NI PCI-4474 กำหนดอัตราสุ่มตัวอย่างที่ 44.1 กิโลเฮิร์ตซ์ ควบคุมการบันทึก และจัดเก็บสัญญาณที่บันทึกได้ในรูปแบบไฟล์ WAV ด้วยโปรแกรม Labview™

2. การกำจัดสัญญาณรบกวน

เนื่องจากสัญญาณเสียงที่ทำการบันทึกนั้น กระทำในสภาพห้องทำงานปกติที่ไม่ใช่ห้องสำหรับบันทึกเสียงโดยตรง ซึ่งจากการตรวจวัดสัญญาณรบกวนในเบื้องต้นก่อนทำการบันทึกพบว่ามีส่วนของสัญญาณรบกวนในย่านความถี่ต่ำกว่า 100 เฮิร์ตซ์ รวมอยู่กับเสียงที่บันทึกด้วยดังแสดงในรูปที่ 1 เพื่อไม่ให้สัญญาณรบกวนเหล่านี้มี



รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างชุดสัญญาณเสียงโคต้าที่มีสัญญาณรบกวน



รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างชุดสัญญาณเสียงโคต้าที่ผ่านการกรองสัญญาณรบกวนออกเรียบร้อยแล้ว

อิทธิพลต่อการทดลองจึงต้องทำการกรองสัญญาณรบกวนออกเสียก่อนโดยใช้โปรแกรม Audacity โดยใช้ตัวกรองสัญญาณความถี่สูงผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ธอันดับที่ 4 (4th Butterworth Highpass Filter) ที่ความถี่ตัด 100 เฮิรตซ์ ซึ่งผลการกรองสัญญาณรบกวนนี้แสดงในรูปที่ 2

3. การเตรียมตัวอย่างเสียงที่ใช้ในการทดลอง

สัญญาณเสียงที่ผ่านการกรองสัญญาณรบกวนออกแล้วจะถูกนำมาเตรียมตัวอย่างเสียง ซึ่งจะต้องระบุ

องค์ประกอบความถี่มูลฐานและองค์ประกอบเชิงฮาร์โมนิกส์ โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงความถี่ของสัญญาณเสียง ซึ่งการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงความถี่ของสัญญาณเสียงในระบบดิจิทัล (Digital Audio) หรือ สัญญาณเวลาไม่ต่อเนื่อง (Discrete Time Signal) สามารถกระทำได้โดยการแปลงฟูริเยร์แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Fourier Transform – DFT) ซึ่งแสดงดังสมการที่ 1 [5]

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-\frac{j2\pi kn}{N}}, k=0,1,\dots,N-1 \quad (1)$$

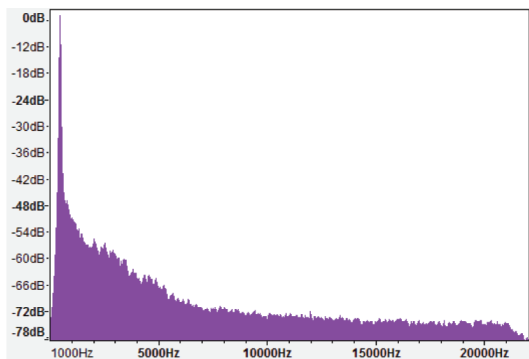
ผลการคำนวณ $X[k]$ จะเป็นอาร์เรย์ของจำนวนเชิงซ้อน การแสดงองค์ประกอบเชิงความถี่จะใช้เฉพาะขนาด $|X[k]|$ เท่านั้น ซึ่งความละเอียดในแกนความถี่ Δf ขององค์ประกอบเชิงความถี่ของสัญญาณ สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2 (สัญญากร, 2547)

$$\Delta f = \frac{f_s}{N} \quad (2)$$

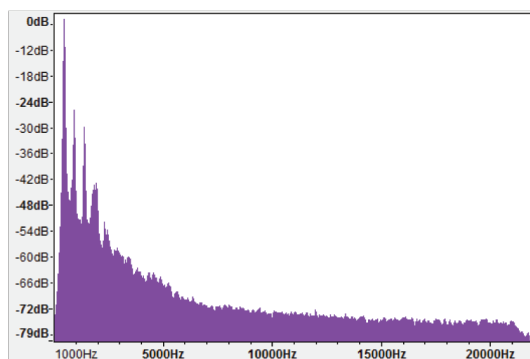
การทดลองนี้เลือกใช้การแปลงฟูริเยร์แบบไม่ต่อเนื่องขนาด 8,192 จุด หรือคิดเป็น 185.8 มิลลิวินาที ซึ่งเป็นช่วงเวลาใกล้เคียงกับการได้ยินของมนุษย์ (Duration of Unity Detectability : 15-150 มิลลิวินาที) [6] ที่อัตราสุ่มตัวอย่าง 44.1 กิโลเฮิร์ตซ์ อนึ่ง การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงความถี่จำเป็นจะต้องเลือกใช้ฟังก์ชันหน้าต่างที่เหมาะสมเพื่อลดการรั่วซึมทางความถี่ (Frequency Leakage) ในการทดลองนี้เลือกใช้ฟังก์ชัน

หน้าต่างแบบแบล็คแมน (Blackman Window) ขนาด 8,192 จุด ซึ่งเมื่อนำมาใช้วิเคราะห์เสียงขลุ่ยไทยแล้วให้ค่าความถี่และค่าแอมพลิจูดที่ถูกต้องมากกว่าฟังก์ชันหน้าต่างชนิดอื่น ๆ [7]

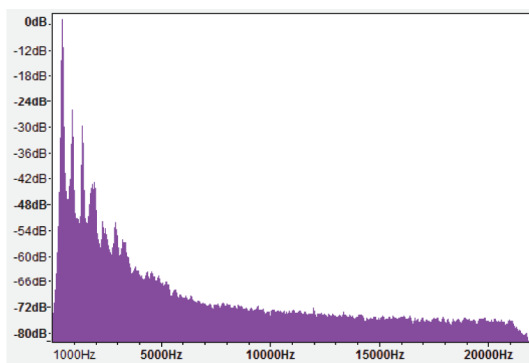
การระบุองค์ประกอบความถี่มูลฐานและองค์ประกอบฮาร์มอนิกของสัญญาณเสียงดนตรีซึ่งมีลักษณะคล้ายสัญญาณรายคาบ จะระบุตำแหน่งที่องค์ประกอบเชิงความถี่มีความโดดเด่น กล่าวคือเป็นค่ายอดในบริเวณนั้น ๆ (Local Peak) เนื่องจากองค์ประกอบเชิงความถี่ที่มีค่าน้อยเป็นเพียงสัญญาณรบกวนอื่น ๆ ซึ่งไม่มีความสำคัญ สำหรับตัวอย่างเสียงแต่ละตัวอย่างจะถูกตัดองค์ประกอบความถี่ฮาร์มอนิกต่าง ๆ กัน โดยจะมีตัวอย่างเสียง 4 ตัวอย่างสำหรับเสียงขลุ่ยเพียงออหนึ่งชิ้นเสียง ประกอบด้วย 1) เสียงที่ถูกตัดองค์ประกอบตั้งแต่ฮาร์มอนิกที่สองขึ้นไป 2) เสียงที่ถูกตัดองค์ประกอบตั้งแต่ฮาร์มอนิกที่หกขึ้นไป 3) เสียงที่ถูกตัดองค์ประกอบตั้งแต่ฮาร์มอนิกที่แปดขึ้นไป และ 4) เสียงต้นฉบับ ซึ่งสเปกตรัมของแต่ละเสียงแสดงตามรูปที่ 3(a), 3(b), 3(c), 3(d) ตามลำดับ



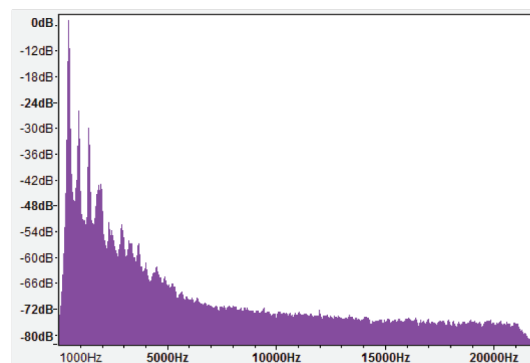
3(a)



3(b)



3(c)



3(d)

รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างสเปกตรัมของสัญญาณเสียงโคต้าที่ผ่านการตัดองค์ประกอบความถี่ที่ฮาร์โมนิกส์ลำดับต่าง ๆ กัน

ดำเนินการตัดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ต่างๆ โดยใช้ตัวกรองสัญญาณแบบนอท์ช อันดับที่ 2 (2nd Notch Filter) ในโปรแกรม Audacity โดยในลำดับแรกจะต้องทำการพล็อตสเปกตรัมเพื่อดูความถี่ที่อยู่ในย่านไหนบ้าง ลำดับถัดมาจึงทำการตัดความถี่ในย่านที่ไม่ต้องการออก

จากนั้นนำเสียงที่ได้มาจัดรูปแบบเพื่อเตรียมทดสอบด้วยการฟังตั้งแต่เสียงโคต่ำจนถึงเสียงโคสูงโดยกำหนดให้ใช้สัญลักษณ์ต่อไปนี้ในการอธิบาย

- 1 แทนสัญญาณเสียงที่ตัดองค์ประกอบตั้งแต่ฮาร์โมนิกส์ที่สองขึ้นไป
- 5 แทนสัญญาณเสียงที่ตัดองค์ประกอบตั้งแต่ฮาร์โมนิกส์ที่หกขึ้นไป

- 7 แทนสัญญาณเสียงที่ตัดองค์ประกอบตั้งแต่ฮาร์โมนิกส์ที่แปดขึ้นไป

- เติม แทนสัญญาณเสียงต้นฉบับ

รูปแบบที่ใช้ในการทดลองมีทั้งหมด 3 รูปแบบ ดำเนินการจัดรูปแบบเพื่อทดสอบความสามารถในการได้ยินองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ฮาร์โมนิกส์ลำดับต่าง ๆ รวม 3 รูปแบบดังต่อไปนี้

รูปแบบที่ 1 ให้ผู้ประเมินฟังเสียงที่ตัดองค์ประกอบตั้งแต่ฮาร์โมนิกส์ที่ 2 เป็นต้นไปเทียบกับเสียงต้นฉบับ รวม 3 ครั้งเพื่อวัดความสามารถในการได้ยินองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 2 เป็นต้นไป โดยจัดรูปแบบดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ชุดทดสอบที่ใช้ในการทดลองรูปแบบที่ 1 เพื่อทดสอบความสามารถ
ในการได้ยินเสียงองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 2 เป็นต้นไป

	เสียงลำดับที่ 1	เสียงลำดับที่ 2	เสียงลำดับที่ 3
ชุดทดสอบที่ 1	1	เต็ม	1
ชุดทดสอบที่ 2	1	1	เต็ม
ชุดทดสอบที่ 3	เต็ม	1	1

ตารางที่ 2 ชุดทดสอบที่ใช้ในการทดลองรูปแบบที่ 2 เพื่อทดสอบความสามารถ
ในการได้ยินเสียงองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 6 เป็นต้นไป

	เสียงลำดับที่ 1	เสียงลำดับที่ 2	เสียงลำดับที่ 3
ชุดทดสอบที่ 1	5	เต็ม	5
ชุดทดสอบที่ 2	5	5	เต็ม
ชุดทดสอบที่ 3	เต็ม	5	5

ตารางที่ 3 ชุดทดสอบที่ใช้ในการทดลองรูปแบบที่ 3 เพื่อทดสอบความสามารถ
ในการได้ยินเสียงองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 8 เป็นต้นไป

	เสียงลำดับที่ 1	เสียงลำดับที่ 2	เสียงลำดับที่ 3
ชุดทดสอบที่ 1	7	เต็ม	7
ชุดทดสอบที่ 2	7	7	เต็ม
ชุดทดสอบที่ 3	เต็ม	7	7

รูปแบบที่ 2 ให้ผู้ประเมินฟังเสียงที่ตัดองค์ประกอบตั้งแต่ฮาร์โมนิกส์ที่ 6 เป็นต้นไปเทียบกับเสียงต้นฉบับรวม 3 ครั้งเพื่อวัดความสามารถในการได้ยินองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 6 เป็นต้นไป โดยจัดรูปแบบดังตารางที่ 2

รูปแบบที่ 3 ให้ผู้ประเมินฟังเสียงที่ตัดองค์ประกอบตั้งแต่ฮาร์โมนิกส์ที่ 8 เป็นต้นไปเทียบกับเสียงต้นฉบับรวม 3 ครั้งเพื่อวัดความสามารถในการได้ยินองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 8 เป็นต้นไป โดยจัดรูปแบบดังตารางที่ 3

เมื่อได้รูปแบบในแต่ละขั้นเสียงแล้ว นำแต่ละรูปแบบมาทำการสุ่มเลือกตัวอย่างเสียงออกมาหนึ่งชุดทดสอบให้ครบทั้ง 3 รูปแบบ ทำซ้ำจนครบทุกขั้นเสียงจะได้ตัวอย่างเสียงทั้งหมด 24 ชุดทดสอบ จากนั้นทำการสลับลำดับของชุดทดสอบแบบสุ่ม จะได้รายการตัวอย่างเสียงสำหรับการทดสอบครั้งที่ 1 จากนั้นทำซ้ำ อีก 2 ครั้ง โดยชุดทดสอบที่ถูกสุ่มเลือกออกมาแล้วจะไม่นำมาสุ่มซ้ำรวมจะได้รายการชุดทดสอบที่ใช้ในการทดสอบต่อผู้ประเมิน 1 คน รวม 3 รายการ ๆ ละ 24 ชุดทดสอบ เก็บไฟล์ข้อมูลรายการนี้ไว้ในคอมพิวเตอร์

4. การทดลองตรวจจับฮาร์โมนิกส์ด้วยการฟัง

การทดลองจะสุ่มเลือกกลุ่มตัวอย่างผู้ประเมินประกอบด้วยนักศึกษาจากสาขาดนตรีไทย คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จำนวนทั้งสิ้น 15 คน โดยให้ผู้ประเมินฟังเสียงจากรายการที่บันทึกไว้จากคอมพิวเตอร์โดยใช้หูฟัง (Headphone) ควบคุมการเล่นเสียง (Playback) และบันทึกการตอบสนองของผู้ประเมินโดยใช้โปรแกรม Labview™ ดังแสดงในรูปที่ 4

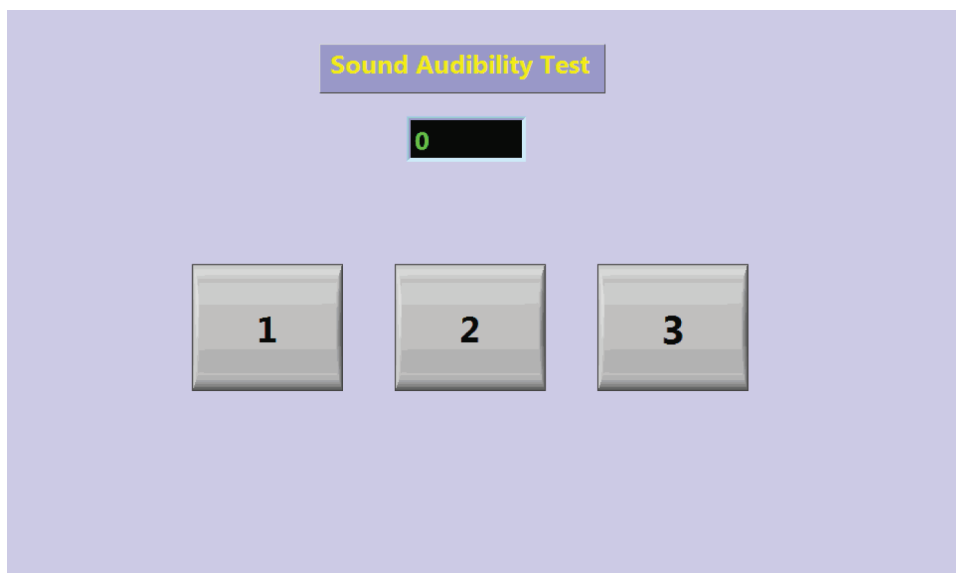
ผู้ประเมินจะต้องฟังเสียงทีละชุดเสียง ๆ ละ 3 ตัวอย่างเสียง จากนั้นจึงทำการคัดเลือกเสียงผู้ประเมินคิดว่าที่มีความแตกต่างจากเสียงอื่นโดยใช้เมาส์ หากผู้ประเมินไม่สามารถจำแนกได้ว่าเสียงใดมีความแตกต่างจากเสียงอื่นให้ผู้ประเมินเลือกคำตอบโดยใช้การเดา โปรแกรมจะจัดเก็บผลตอบสนองจากผู้ประเมินไว้ในรูปของค่าตรรกะ จริง (True) ในกรณีที่ตอบถูก และเท็จ (False) ในกรณีที่ตอบผิด

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

ตารางที่ 4 แสดงผลการทดลองทั้ง 3 รูปแบบ โดยแสดงจำนวนครั้งที่ผู้ประเมินเลือกเสียงที่แตกต่างจากพวกได้ถูกต้อง และจำนวนที่ผู้ประเมินเลือกเสียงที่แตกต่างได้ไม่ถูกต้อง

อนึ่ง รูปแบบที่ 1 คือการเปรียบเทียบระหว่างเสียงต้นฉบับกับเสียงที่ตัดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 2 ขึ้นไปออก รูปแบบที่ 2 คือการเปรียบเทียบระหว่างเสียงต้นฉบับกับเสียงที่ตัดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 6 ขึ้นไปออก และรูปแบบที่ 3 คือการเปรียบเทียบระหว่างเสียงต้นฉบับกับเสียงที่ตัดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 8 ขึ้นไปออก

จากตารางที่ 4 สังเกตได้ว่าจำนวนครั้งที่ผู้ประเมินเลือกเสียงที่แตกต่างได้ถูกต้องในรูปแบบที่ 1 จะสูงกว่าจำนวนครั้งที่ผู้ประเมินเลือกเสียงที่แตกต่างได้ถูกต้องในรูปแบบที่ 2 และรูปแบบที่ 3



รูปที่ 4 หน้าต่างโปรแกรมที่ใช้ในทดสอบ

ตารางที่ 4 แสดงคะแนนการแยกแยะความแตกต่างของเสียง

เสียง	รูปแบบที่ 1		รูปแบบที่ 2		รูปแบบที่ 3	
	ตอบถูก	ตอบผิด	ตอบถูก	ตอบผิด	ตอบถูก	ตอบผิด
โดต่ำ	29	16	14	31	19	26
เร	32	13	16	29	8	37
มี	33	12	11	34	20	25
ฟา	37	8	12	33	15	30
ซอล	40	5	16	29	14	31
ลา	28	17	14	31	20	25
ที	20	25	19	26	17	28
โดสูง	16	29	15	30	13	32

ตารางที่ 5 แสดงค่า χ^2 ของเสียงในแต่ละรูปแบบ

เสียง \ รูปแบบที่	1	2	3
โดต่ำ	19.6	0.1	1.6
เร	28.9	0.1	4.9
มี	30.07	1.6	2.5
ฟา	48.4	0.9	0
ซอล	62.5	0.1	0.1
ลา	16.9	0.1	2.5
ที	2.5	1.6	0.4
โดสูง	0.1	0	0.4

ในการทดลองแบบ 3-AFC นี้ เมื่อผู้ประเมินไม่สามารถจำแนกได้ว่าเสียงใดมีความแตกต่างจากเสียงอื่น จะให้ผู้ประเมินเดาคำตอบได้ ซึ่งโอกาสที่ผู้ประเมิน 15 คนจะเดาถูกคิดเป็น 1 ใน 3 หรือโอกาสที่จำนวนครั้งที่ตอบถูกของผู้ประเมินทุกคนรวมกันได้ 15 ครั้ง และตอบผิด 30 ครั้งในหนึ่งเสียง ดังนั้นจะทำการทดสอบโดยใช้การทดสอบแบบไคกำลังสอง (Chi-Square : χ^2) [8] ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จากนั้นตั้งสมมติฐานของการทดลองได้ดังต่อไปนี้

กำหนดให้

H_0 : จำนวนครั้งที่ตอบถูกมาจากการเดา

H_1 : จำนวนครั้งที่ตอบถูกไม่ได้มาจากการเดา
คำนวณค่า χ^2 จากจำนวนครั้งที่ตอบถูกและตอบผิดจากตารางที่ 4 และแสดงค่าที่ได้ในตารางที่ 5

ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ df เท่ากับ 1 ค่า $\chi^2_{(0.05,1)}$ จะเท่ากับ 3.84 ซึ่งจากตารางที่ 5 จะเห็นว่าเสียงในรูปแบบที่ 1 เสียงส่วนใหญ่ตั้งแต่เสียงโดต่ำจนถึงเสียงลามิค่า χ^2 ที่มากกว่า 3.84 นั่นคือ ปฏิเสธ H_0 ซึ่งในรูปแบบที่ 1 มีเพียงเสียงทีและโดสูงเท่านั้นที่ยอมรับ H_0 ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าเสียงที่มีความถี่สูงขึ้นอาจส่งผลต่อการแยกแยะเสียงก็เป็นได้ สำหรับเสียงในรูปแบบที่ 2 และ 3 ค่า χ^2 น้อยกว่า 3.84 นั่นคือยอมรับ H_0 ยกเว้นเสียงรูปแบบที่ 3 เท่านั้น เนื่องจากผู้ประเมินตอบถูกน้อยกว่าปกติ

ดังนั้นจากผลการทดลองจะได้ว่าเสียงรูปแบบที่ 1 จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 นั่นคือจำนวนครั้งที่ตอบถูกไม่ได้มาจากการเดา หรืออีกนัยหนึ่งคือผู้ประเมินสามารถแยกแยะความแตกต่างของเสียงได้ถูกต้อง สำหรับเสียงในรูปแบบที่ 2 และ 3 นั้นยอมรับ H_0 นั่นคือจำนวนครั้งที่ตอบถูกมาจากการเดา หรืออีกนัยหนึ่งคือผู้ประเมินไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างของเสียงได้ถูกต้องซึ่งหมายความว่าองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ถูกตัดออกไปนั้นไม่มีความสำคัญต่อคุณภาพเสียงของขลุ่ยเพียงออ

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เป็นการศึกษาความสำคัญขององค์ประกอบฮาร์โมนิกของเสียงขลุ่ยเพียงออ โดยใช้การทดสอบโดยการฟัง ชุดทดสอบที่จัดเตรียมให้ผู้ประเมิน ฟังนั้นประกอบด้วยเสียงคั่นฉบับ และเสียงที่ถูกตัดองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ลำดับต่าง ๆ กันออก โดยให้ผู้ประเมินพยายามตรวจจับความแตกต่างของตัวอย่างเสียงทั้ง 2 นี้โดยการฟัง จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า องค์ประกอบฮาร์โมนิกลำดับที่ 2 ถึงลำดับที่ 5 มีความสำคัญต่อคุณภาพของเสียงขลุ่ยเพียงออ ในขณะที่องค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 6 ขึ้นไปไม่มีความสำคัญต่อคุณภาพเสียงของขลุ่ยเพียงออ นั้นหมายความว่าเราสามารถสังเคราะห์เสียงขลุ่ยเพียงออได้ โดยให้เสียงสังเคราะห์ประกอบด้วยองค์ประกอบความถี่มูลฐานและองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 2 ถึงฮาร์โมนิกที่ 5 เท่านั้นก็เพียงพอแล้วทำให้ประหยัดพื้นที่ในการจัดเก็บข้อมูลและทรัพยากรในการคำนวณ

เอกสารอ้างอิง

- [1] สราวุธ สุจิตจร. (2545). การวิเคราะห์เสียงดนตรีไทย. (พิมพ์ครั้งที่ 1). นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [2] ฤทธิรัตน์ ชินเวชกิจวานิชย์ สราวุธ สุจิตจร กิตติ อรรถกิจมงคล และ เพียร ไชยโรจน์. (2547). การวิเคราะห์ระดับเสียงดนตรีไทย. วารสารเทคโนโลยีสุรนารี. 11(3), 179-192.
- [3] กิตติพงษ์ มีสวาสดี จริญญาญนประดิษฐ์ และ ภาณุภูมิ โชคชัยรุ่งโรจน์. (2549). การประเมินระบบเสียงธรรมชาติของขลุ่ยเพียงออ. ในการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 29, 2549. (1053-1056). พฤศจิกายน 2549. กรุงเทพฯ.

- [4] ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล จักรยานยนต์ และ
การประดิษฐ์ มีสวาศดี. (2551). การเปรียบเทียบเสียง
ขลุ่ยแบบเสียงควงกับแบบเสียงปกติโดยใช้การ
กระจายเชิงโหมด. ใน การประชุมวิชาการ
วิทยาการคอมพิวเตอร์และวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
แห่งชาติ ครั้งที่ 12, 2551. (394-397). พฤศจิกายน
2551. กรุงเทพฯ.
- [5] ลัญญกร วุฒิสถิตกุลกิจ. (2547). **พื้นฐานกรรมวิธี
สัญญาณดิจิทัล**. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร:
สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [6] Moore, B.J.C. (1997). **An Introduction of the
Psychology of Hearing**. 4th ed. Great Britain:
Academic Press
- [7] รุ่งกานต์ สิริเจริญชัย. (2544). การสังเคราะห์เสียงขลุ่ย
ไทยโดยใช้ **Sinusoidal Plus Noise Model**.
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง
- [8] ชัชวาลย์ เรืองประพันธ์. (2544). **การวิเคราะห์ข้อมูล
ด้วยโปรแกรม SPSS for Windows**. (พิมพ์
ครั้งที่ 1). ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.